

بررسی اثر دما بر روند رشد و نمو کفشدوزک *Hippodamia variegata* با تغذیه از شته‌ی سبز انار *Aphis punicae*

ایمان رضائی، محمد امین سمیع

گروه گیاه پزشکی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه ولی عصر، رفسنجان

مسئول مکاتبات: محمد امین سمیع، پست الکترونیک: samia_aminir@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۷/۰۷

۳۴-۱۹ (۲) ۳

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۲۴

چکیده

ویژگی‌هایی مانند دوره‌ی رشدی کوتاه‌تر، باروری بیشتر و اندازه‌ی بزرگ‌تر بدن دشمنان طبیعی، برای تولید انبوه آن‌ها به‌عنوان عوامل کنترل بیولوژیک مهم هستند. یکی از شکارگرهای مهم آفات در باغ‌های ایران کفشدوزک *Hippodamia variegata* (Col.: Coccinellidae) است. در این پژوهش تأثیر شش دمای ثابت ۱۷/۵، ۲۰، ۲۲/۵، ۲۵، ۲۷/۵ و ۳۰ (±۱) درجه‌ی سلسیوس بر طول دوره‌ی رشد و نمو این کفشدوزک با تغذیه از شته‌ی سبز انار *Aphis punicae* (Hem.: Aphididae) در اتاق رشد با رطوبت نسبی ۶۵±۵ درصد و دوره‌ی نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی بررسی شد. اثر دما بر طول دوره‌ی رشد هر یک از دوره‌های رشد و نمو کفشدوزک مورد بررسی معنی‌دار بود. میانگین طول دوره‌ی رشدی از تخم تا حشره‌ی کامل در دماهای یاد شده به‌ترتیب ۱۷/۵۴۱±۱/۴۶، ۳۱۱±۰/۲۳، ۲۲۶±۰/۱۹، ۳۰۲±۰/۱۳، ۲۸۳±۰/۱۲ و ۷۳۱±۰/۱۷ روز بود. نرخ رشد و نمو مراحل رشدی کفشدوزک *H. variegata* با افزایش دما در دامنه دمایی مورد بررسی تا ۲۷/۵ درجه‌ی سلسیوس به‌صورت خطی افزایش یافت. برای توصیف ریاضی این ارتباط از دو مدل خطی معمولی (روز-درجه) و ایکموتو و تاکای استفاده شد. شاخص‌های آماری مورد استفاده برای ارزیابی مشاهدات با مدل‌های مورد بررسی نشان داد، در حالی که مدل خطی معمولی به‌خوبی قادر به توصیف این ارتباط خطی است، اما برازش مدل ایکموتو و تاکای بهتر از مدل یاد شده روی داده‌های ثبت شده است. کم‌ترین میزان مرگ و میر در دماهای ۲۰ و ۲۷/۵ درجه مشاهده شد. براساس برآوردهای مدل خطی ایکموتو و تاکای آستانه‌ی پایین دمای رشد و نمو برای مرحله‌ی تخم، لارو، شفیره و کل دوره‌ی تخم تا حشره‌ی کامل با تغذیه از شته‌ی سبز انار به‌ترتیب ۱۱/۱۵، ۱۴/۱۳، ۱۵/۵۲ و ۱۳/۹۹ درجه‌ی سلسیوس و نیاز گرمایی برای مراحل رشدی بالا به‌ترتیب ۴۴/۶۹، ۷۹/۲۲، ۲۳/۶۲ و ۱۵۷/۳۴ روز-درجه‌ی سلسیوس برآورد شد. در این بررسی مدل ریاضی خطی بین دما و نرخ رشد و نمو هر یک از مراحل رشدی کفشدوزک با استفاده از هر دو مدل ارائه شد. بر پایه‌ی نتایج این پژوهش دمای بهینه برای رشد این کفشدوزک ۲۵ تا ۲۷/۵ درجه‌ی سلسیوس است.

واژه‌های کلیدی: آستانه‌ی پایین دمای رشد و نمو، روز-درجه، شته‌ی انار، کفشدوزک

مقدمه

با تغذیه از آن‌ها باعث خسارت می‌شوند. شته‌ی سبز انار *Aphis punicae* (Passerini)، به‌عنوان یک آفت جدی انار مطرح است که در اغلب سال‌ها در فصل بهار و گاهی در پایان فصل تابستان، باغ‌های انار را مورد حمله قرار می‌دهد. بالغ و پوره‌های شته‌ی انار به‌صورت توده‌ای زندگی می‌کنند. آن‌ها با مکیدن شیره‌ی پرورده از سر شاخه‌ها، برگ‌ها، جوانه‌ها و گل‌ها منجر به کاهش کیفیت و عملکرد در محصول انار می‌شوند. بر اثر حمله این شته برگ‌ها پیچیده

انار، *Punica granatum* L. متعلق به کوچک‌ترین تیره‌ی گیاهی یعنی Punicaceae می‌باشد (Kader, 2006). انار از جمله درختان میوه‌ی گرمسیری و نیمه‌گرمسیری است که با شرایط سخت حاشیه‌ی کویر مانند گرمای طاقت‌فرسا، کم‌آبی، خشکی هوا و تا حدی شوری سازگاری دارد (Shakeri & Daneshvar, 2004). چند گونه از حشرات زیان‌آور، برگ و میوه‌ی انار را مورد حمله قرار می‌دهند و

مشخصی، رشد حشره سریع تر خواهد شد (Wagner *et al.*, 1984). با آگاهی از نیازهای گرمایی حشرات می توان برای پیش بینی وقوع و نوسانات فصلی، نحوه ی توزیع و فراوانی و زمان وقوع دیابوز استفاده نمود (Bernal & Gonzalez, 1993). بر این اساس کنترل آفات گیاهی و حفظ و حمایت حشرات مفید در برنامه های مدیریت تلفیقی با آفات آسان تر خواهد بود.

با توجه به اینکه در دماهای مختلف میزان رشد و نمو یک گونه حشره متفاوت است و در نظر گرفتن این موضوع که درباره ی زیست شناسی، آستانه دمایی رشد و نمو و نیاز گرمایی کفشدوزک *H. variegata* روی شته ی انار آگاهی لازم وجود ندارد، در این پژوهش تأثیر دماهای مختلف بر طول دوره های رشدی و میزان مرگ و میر این کفشدوزک با تغذیه از شته ی سبز انار بررسی شد. از نتایج این پژوهش می توان برای تنظیم زمان کنترل آفت در برنامه مدیریت تلفیقی شته ی انار استفاده کرد.

مواد و روش ها

کشت گیاه انار و ایجاد کلنی شته *A. punicae*

جمعیت اولیه ی شته در سال ۱۳۹۲ از روی درختان آلوده در باغ انار دانشگاه ولی عصر رفسنجان (عج) به مختصات جغرافیایی $30^{\circ}23'42.3164''N$ و $55^{\circ}56'51.1177''E$ جمع آوری و پس از شناسایی با استفاده از کلید شناسایی (Samih, 1993) و تأیید متخصص (نویسنده دوم این مقاله) به آزمایشگاه اکولوژی حشرات (گروه گیاه پزشکی، دانشکده ی کشاورزی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان) منتقل شدند. به منظور پرورش و ایجاد کلنی شته، از نهال های کشت شده انار استفاده شد که در قفس های توری دار با ابعاد $80 \times 120 \times 170$ سانتی متر نگهداری شدند. برای هم سن کردن شته ها، تعدادی از حشرات کامل دخترزای بی بال روی نهال های فاقد آلودگی به شته منتقل و به آن ها اجازه داده شد به مدت ۲۴ ساعت پوره زایی کنند. پس از ۲۴ ساعت حشرات کامل حذف شدند و به پوره ها اجازه داده شد تا مرحله ی بلوغ رشد نمایند (Elbert & Cartwright, 1997). شته ها در دمای 25 ± 2 درجه ی سلسیوس، رطوبت نسبی

و حلقوی، گل ها بسته مانده و همراه با میوه های جوان ریزش می کنند. ترشح عسلک از شته موجب جلب گرد و خاک روی سطح برگ ها شده و فتوسنتز را مختل می کند (Bayhan *et al.*, 2005). کفشدوزک ها از مهم ترین حشرات مفید در اکوسیستم های کشاورزی هستند که در ایجاد تعادل جمعیت آفاتی مانند شته ها، پسپل ها، شپشک ها، کنه ها، تخم و لارو حشرات نقش مهمی دارند (Hodek, 1973). پوره ها و حشرات بالغ شته ی انار از جمله طعمه های مناسب برای تعدادی از کفشدوزک های فعال در باغ ها می باشند (Fatemi, 2014; Rounagh-Ardakani *et al.*, 2014). کفشدوزک *Hippodamia variegata* (Goeze) (Col.: Coccinellidae) یک گونه پلی فاژ با پراکنش جهانی است (Gordon, 1987; Franzmann, 2002) که از گونه های متعددی از شته ها و شپشک های زیان آور درختان میوه تغذیه می کند (Radjab, 1989). این کفشدوزک با داشتن جثه ی کوچک، قدرت جستجوگری زیاد و توانایی تولید مثلی بالا می تواند در مدت زمان کوتاه، جمعیت خود را در طبیعت افزایش دهد (Kontodimas & Stathas, 2004; Ershov, 1981).

رژیم غذایی حشرات بر زمان رشد آن ها تأثیر گذار است (Dent & Wratten, 1986; Yang *et al.*, 1994). سرعت رشد کفشدوزک ها به شدت تحت تأثیر دمای محیط قرار دارد به طوری که در یک دامنه ی دمایی مناسب، نرخ رشد مراحل نابالغ و سرعت رشد زیاد شده و طول دوره های رشدی کوتاه تر می شود (Davidson, 1994; Katsarou *et al.*, 2005; Elhabi *et al.*, 2000; Molashahi *et al.*, 2002). دما بر تعداد نسل کفشدوزک نیز تأثیر گذار است (Wang *et al.*, 1984).

رشد هر گونه از حشرات در محدوده ی مشخصی از دما صورت می گیرد. دما بیش ترین تأثیر را روی نرخ رشد حشرات ایفا می کند؛ زیرا حشرات خونسرد هستند (Pedigo, 1999). بنابراین، اندازه گیری آستانه ی پایینی و بالایی دما و نیز دمای مناسب برای مراحل رشدی هر حشره آفت و دشمن طبیعی آن ضروری است (Huffaker *et al.*, 1999). با افزایش دما تا محدوده ی

نسبی 65 ± 5 درصد و دوره‌ی نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی با تغذیه از شته‌ی سبزی انار ثبت شد. این دماها براساس دامنه‌ی دمایی مناسب زندگی شته‌ی انار ($22/5$ و 25 درجه‌ی سلسیوس) انتخاب شدند (Bayhan *et al.*, 2005) و به سبب گرمسیری بودن منطقه، دماهای $27/5$ و 30 درجه‌ی سلسیوس نیز اضافه شد. بدین منظور، برای هر دمای مورد بررسی 200 عدد تخم هم‌سن با عمر کمتر از 24 ساعت از نسل هفتم کلنی اولیه انتخاب و درون پتری‌هایی به قطر 11 سانتی‌متر قرار داده شده و این پتری‌ها درون ظروف پرورش پلاستیکی به ابعاد $10 \times 20 \times 25$ سانتی‌متر قرار گرفته (برای جلوگیری از فرار لاروهای از درون ظروف پتری) و هر کدام جداگانه در دماهای مورد بررسی قرار گرفتند. با بازدید روزانه، میانگین حد فاصل میان زمان تخم‌گذاری تا تفریح تخم‌ها به‌عنوان دوره‌ی جنینی تخم ثبت شد. سپس با تعیین نسبت بین تخم‌های تفریح شده و تخم‌هایی که به نوزاد تبدیل نشده بودند، درصد مرگ و میر تخم محاسبه شد. لاروهای یک‌روزه سن اول با استفاده از قلم موی نرم به صورت جداگانه، به ظروف پتری منتقل شدند. دوره‌ی رشد لارو سن یک تا چهار، پیش‌شفیره و شفیره بررسی و میزان مرگ و میر ثبت شد. لاروهای کفشدوزک در طول انجام این آزمایش به صورت جداگانه با شته‌ی سبزی انار (برگ‌های انار آلوده به شته در اختیار کفشدوزک قرار گرفت) تغذیه شدند. این آزمایش با 60 لارو سن یک کفشدوزک برای هر دما انجام شد. از طریق بررسی‌های روزانه طول دوره هر یک از مراحل مختلف رشدی و میزان بقای سنین مختلف لاروی، پیش‌شفیرگی و شفیرگی کفشدوزک بررسی شد. در مرحله‌ی بعد تأثیر دما روی طول دوره‌ی رشد و نمو هر یک از مراحل رشدی کفشدوزک از نظر آماری در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم افزار SPSS تجزیه‌ی واریانس شده و در صورت معنی‌دار بودن اثر دما، با استفاده از آزمون دانکن مقایسه‌ی میانگین تیمارها و گروه بندی انجام شد.

65 ± 5 درصد و دوره‌ی نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی نگهداری شدند.

جمع‌آوری و پرورش کفشدوزک

برای بکارگیری کفشدوزک *H. variegata* در انجام آزمایش‌ها، از کلنی این کفشدوزک در اینسکتاریوم دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان که قبلاً روی شته‌ی سبزی انار پرورش داده شده بودند استفاده شد. برای حفظ توان ژنتیکی جمعیت، حشرات کامل این کفشدوزک از باغ‌های پسته و انار از منطقه‌ی رفسنجان جمع‌آوری و پس از شناسایی با استفاده از کلید (Bagheri, & Mossadegh, 1996; Alinaghizadeh, 2011) و مقایسه کلکسیون موجود و تأیید متخصص، به جمعیت آزمایشگاهی افزوده شد. برای پرورش این کفشدوزک در آزمایشگاه از ظروف پرورش پلاستیکی به ابعاد $10 \times 20 \times 25$ سانتی‌متر استفاده شد. این ظروف در داخل اتاقک رشد (دمای 25 ± 2 درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و دوره‌ی روشنایی به تاریکی ۸:۱۶) نگهداری شدند. بازدید روزانه ظروف پرورش برای تامین غذای حشرات و رطوبت داخل آن‌ها پیوسته انجام گرفت. برای تغذیه جمعیت اولیه کفشدوزک جمع‌آوری شده، از تخم پروانه بید آرد، *Ephestia kuehniella* Zeller (Lep.: Pyralidae) استفاده شد (Asghari, *et al.*, 2012a).

در ادامه، کفشدوزک‌های داخل اینسکتاریوم به مدت دو نسل روی شته‌ی انار پرورش داده شدند و بعد از آن آزمایش‌های اصلی روی کفشدوزک‌ها آغاز شد. به‌منظور جلوگیری از رشد قارچ، برگ‌های درون ظروف پرورش هر روز تعویض و ظروف پرورش، هر سه روز یک‌بار تمیز شدند. بازدید روزانه ظروف پرورش برای تأمین غذای حشرات و رطوبت داخل آن‌ها انجام گرفت. پرورش تمام مراحل کفشدوزک در دمای 25 ± 2 درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و دوره‌ی نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انجام شد.

طول دوره‌ی مراحل مختلف رشدی و مرگ و میر کفشدوزک *H. variegata* در اتاقک رشد در شش دمای $17/5$ ، 20 ، $22/5$ ، 25 ، $27/5$ و 30 درجه‌ی سلسیوس رطوبت

مدل‌های ریاضی مورد ارزیابی

برای بررسی رابطه‌ی خطی اثر دما روی سرعت رشد و نمو و تعیین آستانه‌ی دمای پایین رشد و نمو و نیاز گرمایی برای مراحل مختلف رشدی کفشدوزک *H. variegata* با تغذیه از شته‌ی سبز انار از دو مدل خطی معمولی یا مدل روز-درجه‌ی (Campbell et al., 1974) و ایکموتو و تاکای (Ikemoto & Takai, 2000) و نرم افزار Excel استفاده شد. بدین منظور میانگین طول دوره‌ی رشد و نمو، برای هر یک از مراحل رشدی در هر یک از دماهای آزمایشی محاسبه شد سپس نرخ رشد در هر دما با معکوس نمودن میانگین دوره‌ی رشد و نمو (بر حسب روز) برای هر مرحله رشدی حشره به دست آمد. با استفاده از ستون داده‌های دماهای مورد بررسی و نرخ رشد در هر دما و تعیین همبستگی بین آن‌ها به روش رگرسیون خطی با استفاده از نرم افزار Excel معادله خطی برای هر یک از مراحل رشدی این حشره به طور جداگانه به دست آمد. در بررسی رابطه خطی بین دما و سرعت رشد و نمو فقط دماهایی که در محدوده‌ی خطی قرار داشتند مورد استفاده قرار گرفت (Wilson & Barnett, 1983; Asghari, et al., 2012b). برای مرحله‌ی تخم نرخ رشد از دمای ۱۷/۵ تا دمای ۳۰ درجه‌ی سلسیوس افزایش یافت لذا هر شش دمای مورد بررسی در محدوده خطی قرار گرفت و برای مراحل لاروی، شفیرگی و پیش از بلوغ نرخ رشد تا دمای ۲۷/۵ افزایش و در دمای ۳۰ درجه‌ی سلسیوس کاهش یافت، لذا رابطه‌ی همبستگی، با توجه به دمای ۱۷/۵ تا ۲۷/۵ درجه‌ی سلسیوس تعیین شد. در مدل خطی معمولی یا روز-درجه با استفاده از رابطه‌ی $(y=a+bT)$ ، که در آن y نرخ رشد و T دمای محیط است، آستانه‌ی پایین دمایی رشد و نمو (T_0) از محاسبه‌ی رابطه‌ی $T=-a/b$ (Arnold, 1959) و نیاز گرمایی (K) از طریق فرمول $K=1/b$ (Campbell et al., 1974) برآورد شد. در روابط یاد شده، a عرض از مبدا رگرسیون نرخ رشد و نمو و دما بوده و b شیب خط می‌باشد. مدل خطی ایکموتو و تاکای به صورت زیر است:

$$DT=k+t_{\min}D$$

که در آن D = طول دوره‌ی رشد و نمو، T = دما، t = آستانه‌ی پایین دمای رشد و نمو و k = نیاز گرمایی می‌باشد.

نتایج و بحث

رشد و نمو کفشدوزک در دماهای مورد بررسی با تغذیه از شته‌ی سبز انار

نتیجه‌ی تجزیه‌ی واریانس و محاسبه‌ی آماری بین دماهای مختلف به عنوان فاکتور مستقل و پارامترهای دوره‌ی رشدی به عنوان متغیر وابسته نشان داد، که اثر دما بر متغیرهای دوره‌ی رشدی لارو سن یک ($F=71.01$, $P=0.0001$, $df_{t,e}=5, 12$)، لارو سن دو ($F=36.676$, $p=0.0001$, $df_{t,e}=5, 12$)، لارو سن سه ($F=18.46$, $P=0.0001$, $df_{t, \text{and } e}=5, 12$)، لارو سن چهار ($F=49.1$, $P=0.0001$, $df_{t,e}=5, 12$)، دوره‌ی پیش شفیرگی ($F=26.65$, $P=0.0001$, $df_{t,e}=5, 12$)، دوره‌ی شفیرگی ($F=127.47$, $P=0.0001$, $df_{t,e}=5, 12$) و کل دوره‌ی رشدی پیش از بلوغ ($F=113.353$, $P=0.0001$, $df_{t,e}=5, 12$, $F=286.647$, $P=0.0001$) معنی دار است. مقدار میانگین مربوط به تأثیر شش دمای مختلف در طول هر یک از مراحل رشدی کفشدوزک *H. variegata* با تغذیه از شته‌ی سبز انار در جدول یک ارائه شده است. نتایج نشان داد که طول دوره‌ی رشدی جنینی (تخم)، لارو سن یک تا چهار و شفیرگی در دمای ۱۷/۵ بیش‌ترین و در دمای ۲۷/۵ کم‌ترین بود. طول دوره‌ی رشد پیش از بلوغ از ۲۶/۸۳ روز در دمای ۱۷/۵ درجه‌ی سلسیوس به ۱۰/۴۵ روز در دمای ۲۷/۵ درجه‌ی سلسیوس کاهش یافت. مقایسه‌ی میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین طول دوره‌ی رشدی در دمای ۱۷/۵ درجه‌ی سلسیوس و کوتاه‌ترین طول دوره‌ی رشدی مربوط به دمای ۲۷/۵ درجه‌ی سلسیوس می‌باشد. اثر دما روی درصد مرگ و میر مرحله لارو سن سوم و چهارم و هم‌چنین مرحله پیش شفیره در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار و برای سایر مراحل معنی دار نیست. درصد مرگ و میر مراحل مختلف رشدی کفشدوزک در جدول ۲ ارائه شده است. درصد مرگ و میر از تخم تا حشره‌ی کامل با افزایش دما از ۱۷/۵ تا ۲۲/۵ درجه‌ی سلسیوس کاهش

یافت. بیشترین درصد مرگ و میر در دمای ۱۷/۵ درجه‌ی سلسیوس و کمترین درصد مرگ و میر در دماهای ۲۲/۵ و ۲۷/۵ درجه‌ی سلسیوس در بین کل دماهای مورد آزمایش مشاهده شد.

جدول ۱- میانگین (\pm SE) طول هر یک از مراحل مختلف رشد (به روز) کفشدوزک *Hippodamia variegata* با تغذیه از شته‌ی سبز انار *Aphis punicae* در دماهای مورد بررسی.

Table 1. Mean \pm SE developmental period of different stages (in days) of *Hippodamia variegata* feeding on pomegranate green aphid (*Aphis punicae*) at different temperatures in studied temperatures.

Immature stage	Temperature (°C)					
	17.5	20	22.5	25	27.5	30
Egg (Incubation Period)	6.73 \pm 0.49a N=200	4.77 \pm 0.36b N=200	4.52 \pm 0.26b N=200	3.22 \pm 0.22c N=200	2.58 \pm 0.3c N=200	2.36 \pm 0.08c N=200
1 st larval instar	4.49 \pm 0.25a N=60	3.4 \pm 0.03b N=60	2.87 \pm 0.03c N=60	1.7 \pm 0.009e N=58	1.86 \pm 0.12de N=60	2.15 \pm 0.21d N=60
2 nd larval instar	4.43 \pm 0.27a N=52	2.7 \pm 0.08b N=58	2.16 \pm 0.02bc N=45	1.38 \pm 0.12d N=50	1.68 \pm 0.05cd N=59	2.26 \pm 0.29bc N=41
3 rd larval instar	4.43 \pm 0.42a N=42	2.32 \pm 0.17c N=56	2.17 \pm 0.24c N=50	1.57 \pm 0.12c N=46	1.69 \pm 0.17c N=57	3.31 \pm 0.28b N=35
4 th larval instar	10.99 \pm 1.18a N=31	2.97 \pm 0.15bc N=55	2.42 \pm 0.04bc N=47	2.104 \pm 1.2bc N=44	1.7 \pm 0.149c N=54	3.61 \pm 0.10b N=33
Prepupal period	3.37 \pm 0.22a N=31	1.78 \pm 0.40c N=54	2.45 \pm 0.12b N=47	1.28 \pm 0.12cd N=41	0.61 \pm 0.03e N=54	0.78 \pm 0.05de N=32
Pupal period	11.54 \pm 0.58a N=30	5.8 \pm 0.5 N=54	2.69 \pm 0.06c N=47	2.22 \pm 0.10c N=41	2.45 \pm 0.1c N=54	2.52 \pm 0.07c N=31
Larval period	24.36 \pm 1.319a	11.39 \pm 0.08b	9.62 \pm 0.21b	6.77 \pm 0.10c	6.94 \pm 0.10c	11.34 \pm 0.65b
Total immature stages	46.01 \pm 1.54a	23.77 \pm 0.31b	19.29 \pm 0.23c	13.51 \pm 0.30e	12.59 \pm 0.28de	17.01 \pm 0.73d

اعدادی که در یک ردیف دارای حروف مشابه هستند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند.

Means within a row and in the same stage followed by the same lowercase letter (a, b, c, d) are not significantly different (Duncan's test, $P < 0.05$).

جدول ۲- درصد مرگ و میر مراحل مختلف رشد کفشدوزک *Hippodamia variegata* با تغذیه از شته‌ی سبز انار *Aphis punicae* در دماهای مورد بررسی.

Table 2. Mortality (%) of different stages of *Hippodamia variegata* feeding on pomegranate green aphid (*Aphis punicae*) at different temperatures.

Immature stage	Temperature (°C)					
	17.5	20	22.5	25	27.5	30
Egg	18a	10bc	5c	5c	3c	12ab
1 st larval instar	5.8ab	0b	4.3ab	15a	1.6ab	9.16ab
2 nd larval instar	11ab	0b	18ab	9.7ab	3.5b	32.77a
3 rd larval instar	22a	4.4a	12.5a	3.5a	5.8a	18.8a
4 th larval instar	3.7a	4.4a	0a	0a	0a	6.27a
Prepupa	0a	2.5a	0a	0a	0a	5.5a
Pupa	2.7a	0a	0a	0a	0a	3.3a

اعدادی که در یک ردیف با حروف مشابه مشخص شده‌اند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند.

Means within a row and in the same stage followed by the same lowercase letter (a, b, c, d) are not significantly different (Duncan's test, $P < 0.05$).

ارزیابی مدل‌های خطی

بررسی رابطه‌ی رگرسیون خطی بین متغیرهای مورد بررسی با استفاده از دو مدل خطی رگرسیون معمولی و ایکموتو و تاکای نشان داد، داده‌های کلیه مراحل رشدی کفشدوزک شکارگر در دامنه دمایی مطالعه شده به خوبی با هر دو مدل برازش داشت. این موضوع با معنی‌داری رگرسیون خطی در سطح احتمال ۵ درصد و مقادیر ضریب تبیین به دست آمده برای هر یک از مراحل رشدی در هر دو مدل خطی تأیید شد (جدول ۳). شکل یک و دو برازش مقادیر مشاهده شده‌ی نرخ رشد و نمو کفشدوزک را در دامنه‌ی دمایی مورد بررسی به ترتیب روی مدل خطی معمولی و ایکموتو و تاکای ارائه کرده است.

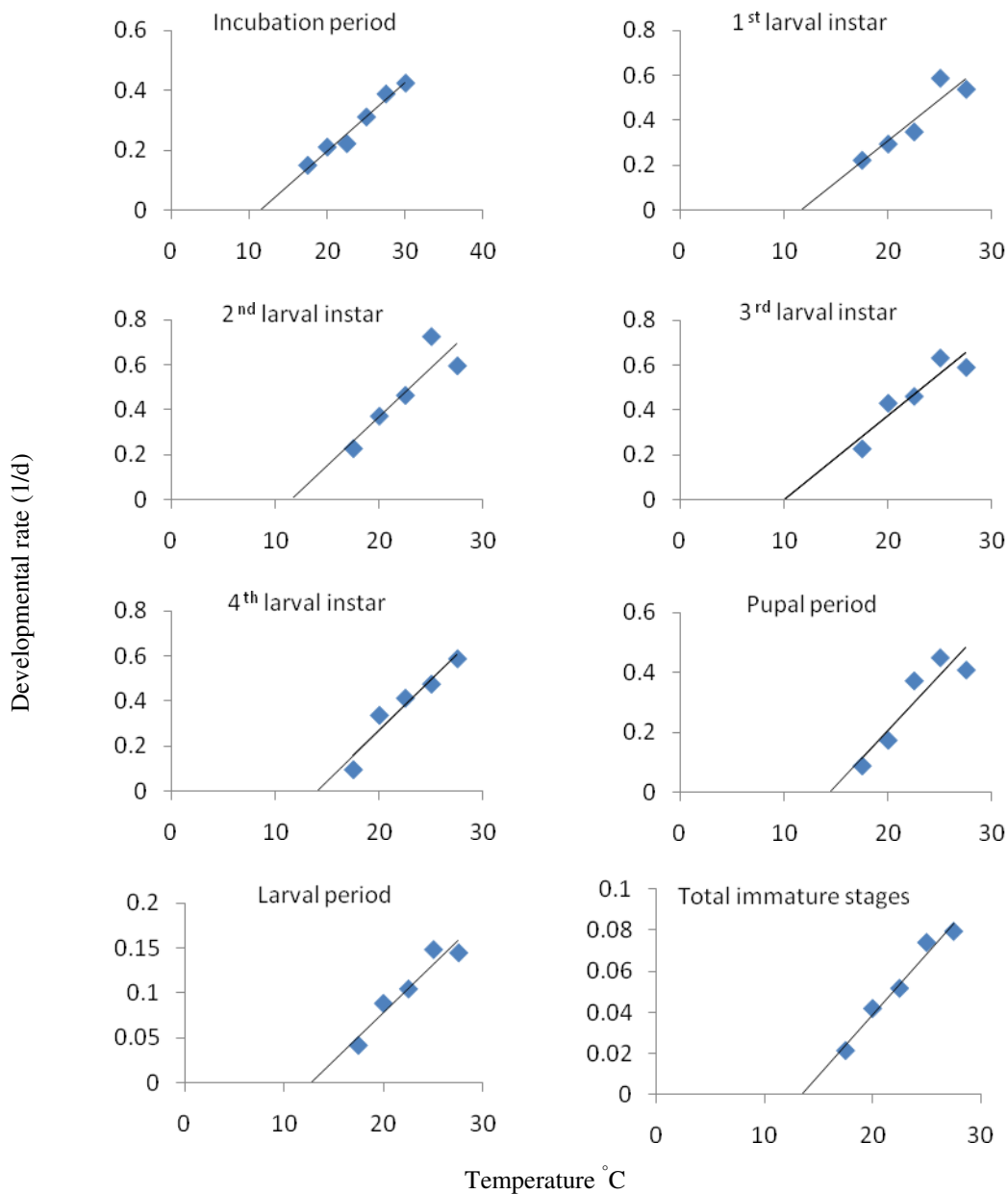
در جدول ۳ معادلات مدل‌های خطی، آستانه پایین دمایی و نیاز گرمایی رشد و نمو (روز-درجه) مراحل مختلف رشدی کفشدوزک با استفاده از دو مدل خطی رگرسیونی معمولی و ایکموتو و تاکای ارائه شده است. مقادیر به دست آمده برای R^2 در مدل ایکموتو و تاکای

نسبت به مدل رگرسیون معمولی بیشتر بود بر همین اساس می‌توان گفت مقادیر برآورد شده برای شاخص‌های دمایی هدف با به کارگیری مدل ایکموتو و تاکای از درجه‌ی اطمینان بالاتری برخوردار هستند. براساس مدل خطی معمولی (روز-درجه) آستانه‌ی دمایی پایین رشد و نمو برای تخم، لارو سن یک، دو، سه، چهار و شفیره به ترتیب ۱۱/۷۰، ۱۱/۶۵، ۹/۹۷، ۱۴/۰۰ و ۱۲/۸۳ درجه‌ی سلسیوس برآورد شد. بر همین اساس، مقدار گرمای موثر مورد نیاز برای طی کردن مراحل مختلف رشدی ذکر شده به ترتیب ۴۳/۲۹، ۲۷/۲۵، ۲۲/۹۴، ۲۶/۷۴، ۲۲/۲۷ و ۲۷/۲۵ روز-درجه‌ی سلسیوس برآورد شد (شکل ۱). براساس مدل ایکموتو و تاکای آستانه پایین دمایی رشد و نمو برای تخم، لارو سن یک تا چهار و شفیره به ترتیب ۱۱/۱۵، ۱۲/۰۱، ۱۲/۹۵، ۱۲/۵۸، ۱۵/۷۹ و ۱۵/۵۲ درجه‌ی سلسیوس و نیاز گرمایی مراحل رشدی فوق به ترتیب ۴۴/۶۹، ۲۶/۶۲، ۲۰/۱۹، ۲۱/۰۹ و ۱۷/۱۷ روز-درجه‌ی سلسیوس به دست آمد.

جدول ۳- فراسنجه‌های آماری و شاخص‌های دمایی رشد و نمو وابسته به دمای مراحل نابالغ کفشدوزک *Hippodamia variegata* با استفاده از دو مدل خطی معمولی و ایکموتو و تاکای.

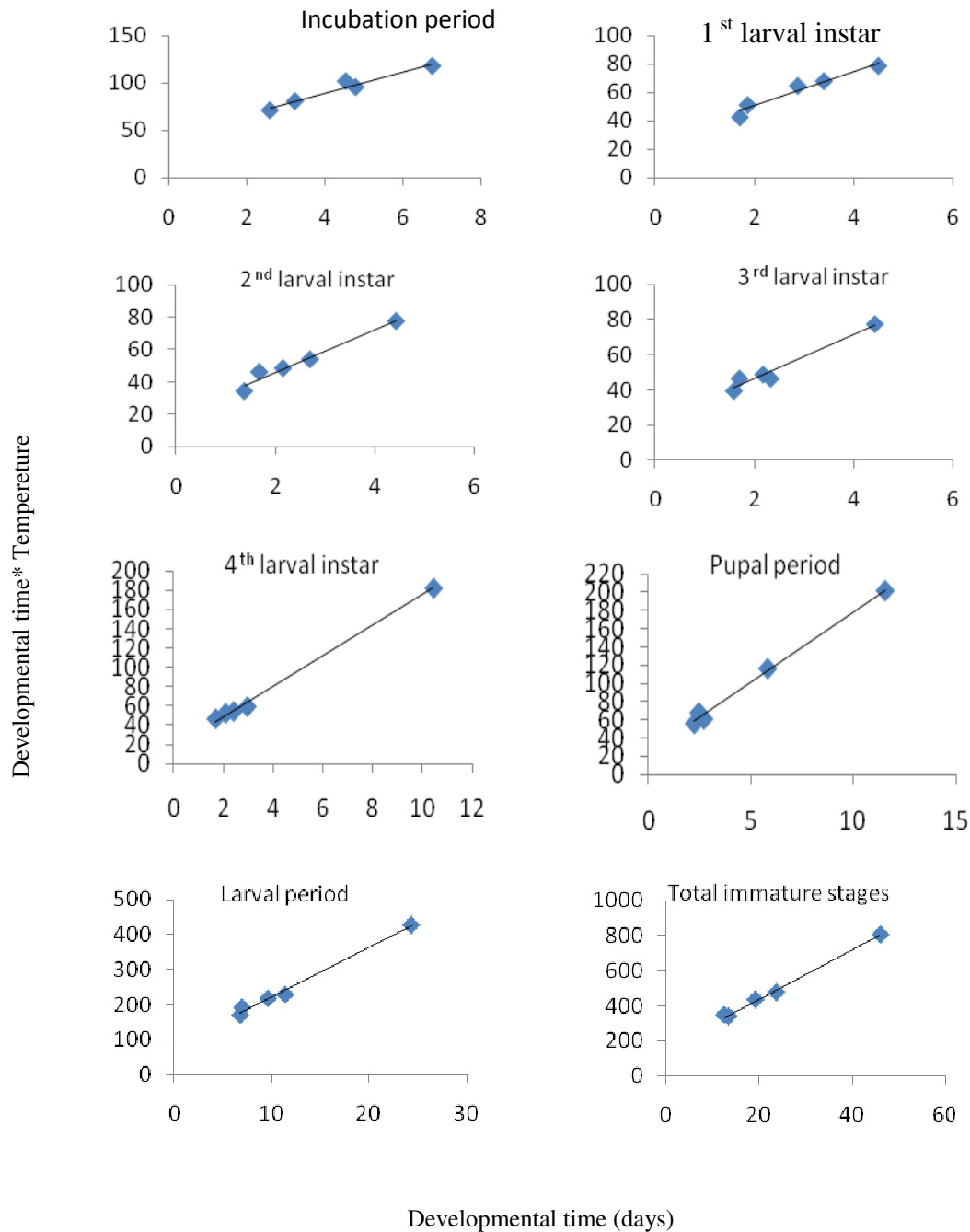
Table 3. Statistical parameters and thermal indices of temperature-dependent development of the *Hippodamia variegata* immature stages by using common and Ikemoto and Takai linear models.

Model	Immature stages	Regression equation	Thermal requirement (DD)	t_{min} °C	R^2
Common Linear	Egg (Incubation Period)	$y = 0.0228x - 0.2591$	43.29	11.36	0.97
	1 st larval instar	$y = 0.0367x - 0.4293$	27.25	11.7	0.85
	2 nd larval instar	$y = 0.0436x - 0.5062$	22.94	11.61	0.79
	3 rd larval instar	$y = 0.0374x - 0.3729$	26.74	9.97	0.84
	4 th larval instar	$y = 0.0449x - 0.6288$	22.27	14.00	0.92
	Pupal period	$y = 0.0367x - 0.5296$	27.25	12.83	0.83
	Larval period	$y = 0.0106x - 0.1343$	94.34	12.67	0.91
	Total immature stages	$y = 0.0059x - 0.0787$	169.49	13.34	0.97
Ikemoto and Takai	Egg (Incubation Period)	$y = 11.341x + 44.68$	44.68	11.14	0.95
	1 st larval instar	$y = 12.012x + 26.619$	26.61	12.01	0.94
	2 nd larval instar	$y = 12.952x + 20.188$	20.18	12.95	0.96
	3 rd larval instar	$y = 12.579x + 21.096$	21.09	12.57	0.96
	4 th larval instar	$y = 15.793x + 17.171$	17.17	15.79	0.99
	Pupal period	$y = 15.522x + 23.611$	23.61	15.52	0.99
	Larval period	$y = 14.132x + 79.212$	79.21	14.13	0.99
	Total immature stages	$y = 13.992x + 157.341$	157.34	13.99	0.99



شکل ۱- رابطه‌ی رگرسیون دما و نرخ رشد مراحل مختلف رشدی کفشدوزک *Hippodamia variegata* با استفاده از مدل خطی معمولی (روز-درجه)، نقاط در این شکل مقادیر مشاهده شده برای نرخ رشد در دماهای مورد بررسی بوده و خط پیش‌بینی مدل رگرسیون خطی می‌باشد (روش کمپل).

Fig. 1. Relationship between temperature and developmental rate of different stages of *Hippodamia variegata*: (Campbel *et al.*, 1974 method).



شکل ۲- رابطه‌ی دما و نرخ رشد مراحل تخم، کل دوره‌ی لاروی، شفیره و تخم تا حشره‌ی کامل کفشدوزک *Hippodamia variegata*، نقاط در این شکل نقاط مشاهده شده است و خط از مدل رگرسیونی به دست آمده است (روش ایکموتو و تاکای).

Fig. 2. Relationship between temperature and developmental rate of Egg; Larval stage, Pupa and Egg to adult of *Hippodamia variegata*: (Ikemoto and Takai method).

سلسیوس تخمین زده شد (شکل ۱). براساس مدل ایکموتا و تاکای آستانه پایین دمایی رشد و نمو برای کل دوره‌ی لاروی ۱۴/۱۳ درجه‌ی سلسیوس و نیاز گرمایی این مرحله

براساس مدل خطی معمولی برای کل دوره‌ی لاروی، آستانه پایین دمایی رشد و نمو ۱۲/۶۷ درجه‌ی سلسیوس و نیاز گرمایی این دوره ۹۴/۳۴ روز-درجه‌ی

(al., 2014). نتایج این پژوهش نشان داد، مرحله‌ی شفیره کفشدوزک در تمام دماهای مورد آزمایش دارای کمترین مرگ و میر بود. بنابراین، مقاوم‌ترین مرحله‌ی رشدی نسبت به دمای پایین را در بین مراحل رشد این کفشدوزک داشت. پژوهش‌های گوناگونی در مورد اثر غذا و دما روی طول دوره‌ی رشدی و درصد مرگ و میر کفشدوزک‌های مختلف انجام شده است که در ادامه اشاره می‌شود. اصغری و همکاران (۱۳۹۱b) تأثیر ۶ دمای ثابت ۱۷/۵، ۲۲/۵، ۲۵، ۲۷/۵، ۳۰ و ۳۲/۵ را بر زمان رشد پس‌یل معمولی پسته *Agonoscena pistaciae* Burckhardt and Lauterer و غلات *Sitotroga cerealella* Olivier در شرایط آزمایشگاهی بررسی کردند (Asghari, et al., 2012b). در این پژوهش آن‌ها کل دوره‌ی رشد برای کفشدوزک *H. variegata* با تغذیه از بید غلات *S. cerealella* در دماهای ثابت بالا را به ترتیب ۴۷/۶۳±۱/۵۳، ۱۸/۱۸±۰/۱۸، ۲۵/۰۸±۰/۱۸، ۳۷/۱۷±۰/۳۷، ۶۴/۱۷±۰/۶۴، ۱۲/۱۶±۰/۴۶ و ۳۹/۱۱±۰/۳۹ روز و ۱۱/۲۷±۰/۷۵ و ۴۰/۱۱±۰/۷۵، ۳۲/۲۲±۰/۳۲، ۲۶/۱۸±۰/۲۶، ۳۱/۱۳±۰/۳۱ و ۵۱/۱۳±۰/۵۱ روز با تغذیه از پس‌یل معمولی پسته گزارش کرده‌اند (Asghari et al., 2012b). نتایج نشان داد که زمان رشد با افزایش دما کاهش می‌یابد. کمترین زنده‌مانی در دماهای مختلف، برای لارو سن یک و بیشترین زنده‌مانی برای لاروهای سن ۳، ۴ و شفیره به دست آمد. که با پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. در پژوهش رونق اردکانی و همکاران (۱۳۹۳) میانگین طول دوره‌ی رشدی از تخم تا حشره‌ی کامل کفشدوزک *Oenopia conglobata contaminata* (Menetries) با تغذیه از شته‌ی سبز انار *A. punicae* در دماهای ۲۲/۵، ۲۵، ۲۷/۵ و ۳۰ درجه‌ی سلسیوس به ترتیب ۲۰/۳۷، ۳۱/۱۸، ۳۹/۱۶ و ۳۴/۱۴ روز بوده است (Rounagh-Ardakani, et al., 2014). و در پژوهش فاطمی دهج (۱۳۹۳) میانگین طول دوره‌ی رشدی از تخم تا حشره‌ی کامل کفشدوزک زی‌ک زاکی *Menochilus sexmaculatus* (Fabricius) انار در دماهای ۲۲/۵، ۲۵، ۲۷/۵ و ۳۰ درجه‌ی سلسیوس به ترتیب ۱۶/۰۲، ۱۱/۶۶، ۱۰/۴۵ و ۱۳/۳۵ روز به دست آمد

۷۹/۲۲ روز-درجه‌ی سلسیوس تخمین زده شد (شکل ۲). برای محاسبه آستانه پایین دمایی رشد و نمو برای مجموع مراحل رشدی، میانگین تعداد روز برای دوره‌ی تخم و دوره‌ی لاروی تا ظهور حشره‌ی کامل با یکدیگر جمع شدند. سپس نرخ رشد برای دماهای مورد آزمایش محاسبه شد. براساس مدل خطی معمولی آستانه‌ی پایین دمای رشد و نمو ۱۳/۳۴ درجه‌ی سلسیوس و نیاز گرمایی این دوره ۱۶۹/۴۹ روز-درجه‌ی سلسیوس تخمین زده شد (شکل ۱) و براساس مدل ایکموتو و تاکای آستانه پایین دمای رشد و نمو برای مجموع مراحل رشدی ۱۳/۹۹ درجه‌ی سلسیوس و نیاز گرمایی این دوره ۱۵۷/۳۴ روز-درجه‌ی سلسیوس برآورد شد (شکل ۲).

بحث

نتایج نشان داد که بهترین دما از نظر کاهش طول دوره‌ی رشد و افزایش سرعت رشد برای پرورش کفشدوزک *H. variegata* در فاصله‌ی دمایی ۲۵ تا ۲۷/۵ درجه‌ی سلسیوس قرار دارد. دمای ۲۷/۵ درجه‌ی سلسیوس با دارا بودن کم‌ترین میزان مرگ و میر و بیشترین سرعت و نرخ رشد مناسب‌ترین دما در بین دماهای مورد بررسی برای پرورش این کفشدوزک است. در این آزمایش کوتاه‌ترین دوره‌ی رشدی در دمای ۲۷/۵ درجه‌ی سلسیوس و بلندترین دوره‌ی رشدی در دمای ۱۷/۵ درجه‌ی سلسیوس اتفاق افتاد. با افزایش دما از ۱۷/۵ به ۲۷/۵ درجه‌ی سلسیوس سرعت رشد کفشدوزک زیاد و طول دوره‌های رشدی کوتاه‌تر شد که بیانگر این مسئله است که دما به‌طور معنی‌داری باعث تغییر طول دوره‌ی رشدی کفشدوزک می‌شود. در این پژوهش بیش‌ترین میزان مرگ و میر در دمای ۱۷/۵ درجه مشاهده شد و در بین مراحل رشدی، مرحله لارو سن یک و دوم دارای بیش‌ترین میزان مرگ و میر بود. مرحله‌ی لاروی سن یک و دو به دلیل هم‌خواری، کوچک بودن جثه و قدرت کم تسلط بر میزبان در دسترسی به میزبان دچار مشکل شده و تلفات بیشتری را تحمل می‌کند. مشابه این رخداد در پژوهش‌های مختاری و سمیع (۱۳۹۳) و رونق اردکانی و همکاران (۱۳۹۳) نیز مشاهده شده است (Rounagh-Ardakani, et al.; Mokhtari, & Samih, 2014)

حشره‌ی کامل در دماهای فوق به ترتیب ۲۸/۸۸، ۲۱/۰۴، ۱۳/۰۸، ۱۰/۳۰ روز می‌باشد که همراه با افزایش دما از ۲۰ تا ۳۵ درجه‌ی سلسیوس، نرخ رشد کفشدوزک افزایش می‌یابد. بالاترین درصد تفریح تخم در دماهای ۲۵ درجه‌ی سلسیوس و به میزان ۹۴ درصد است و کم‌ترین میزان آن در دمای ۳۵ درجه‌ی سلسیوس و به میزان ۸۴ درصد می‌باشد. در همین بررسی، نتایج حاصل از آزمایش میزان بقای کفشدوزک در دماهای مختلف نشان داد که بیشترین میزان بقای کفشدوزک در دمای ۳۰ درجه‌ی سلسیوس بود (۷۷/۶۶٪) و کم‌ترین میزان بقا در دمای ۳۵ درجه‌ی سلسیوس ۳۰ درصد بود. (Badawy (1968 طول دوره‌های مختلف رشدی کفشدوزک *H. variegata* در سودان در شرایط مزرعه و روی شته‌های یونجه را مورد مطالعه قرار داد، طبق این آزمایش طول دوره‌ی جنینی، دوره‌ی لاروی و دوره‌ی شفیرگی به ترتیب ۲، ۶/۱۰۹ و ۲/۶۱ روز به دست آمد. در پژوهشی (Lanzoni et al., 2004) بیولوژی کفشدوزک *H. variegata* را با تغذیه از شته‌ی سبز هلو مورد بررسی قرار دادند در این بررسی، مدت زمان لازم برای تفریح تخم ۲/۶ روز، طول دوره‌ی لاروی سنین ۱، ۲، ۳، ۴ و شفیره به ترتیب ۲/۶، ۱/۹، ۲، ۲/۹ و ۶/۱ روز و کل دوره‌ی رشدی ۱۸/۱ روز طول کشید که از کل دوره‌ی رشدی به دست آمده در این پژوهش بیشتر است. علت این امر به متفاوت بودن نوع طعمه بستگی دارد.

نتایج بسیاری از پژوهشگران نشان داد که افزایش دما باعث کاهش دوره‌ی رشدی گونه‌های مختلف کفشدوزک روی میزبان‌های مختلف می‌شود (Elhabi, et al., 2000 و Jafari & Vafaei, 2001 و Jalali, 2001 و Katsarou et al., 2005 و Shoushtari, 2009 و Mokhtari et al., 2014ab). همچنین ضمن این بررسی مشخص شد که مرگ و میر لاروهای سن یک و دو بسیار بیشتر از لاروهای سنین بعدی و شفیره به ویژه در دماهای پائین می‌باشد. نتایج تحقیقات دانشمندان نشان می‌دهد که بیشترین میزان مرگ و میر لاروی در دمای نزدیک دمای پایین رشد اتفاق می‌افتد که یک پدیده طبیعی در بین کفشدوزک‌های شته‌خوار می‌باشد که در مناطق معتدل زندگی می‌کنند (Rodriguez & Miller, 1999).

(Fatemi, 2014). در پژوهش حاضر میانگین طول دوره‌ی رشدی از تخم تا حشره‌ی کامل در دماهای ۲۲/۵، ۲۵ و ۲۷/۵ درجه‌ی سلسیوس به ترتیب ۱۹/۲۹، ۱۳/۵۱ و ۱۲/۵۹ روز به دست آمد که در مقایسه با پژوهش رونق اردکانی و همکاران (۱۳۹۲) طول دوره‌ی رشدی در دماهای مشابه کمتر می‌باشد و در مقایسه با پژوهش (Fatemi, 2014) طول دوره‌ی رشدی در تمامی دماهای مشابه بیشتر می‌باشد. همچنین درصد مرگ و میر در لارو سن چهار تمام دماهای مشابه فوق نسبت به پژوهش حاضر بیشتر بوده است. بنابراین، کفشدوزک *H. variegata* به دلیل تغذیه بالای لارو سن چهار و درصد پایین تر مرگ و میر نسبت به کفشدوزک‌های *M. sexmaculatus* و *O. conglobata contaminata* شکارگر مناسب تری برای شته‌ی انار است. همچنین شته‌ی سبز انار برای کفشدوزک *H. variegata* نسبت به کفشدوزک *M. sexmaculatus* و *O. conglobata contaminate* میزبان مناسب تری است. نتیجه گیری کلی زمانی امکان پذیر است که پارامترهای زیستی از جمله نرخ ذاتی افزایش طبیعی جمعیت محاسبه و مقایسه شود. در محاسبه‌ی نرخ ذاتی افزایش طبیعی فاکتورهای همچون باروری، طول عمر و نرخ زنده‌مانی مورد توجه قرار می‌گیرد (Hu et al., 2010 و Chi 1990).

در پژوهش (Elhabi et al., 2000) طول دوره‌ی سنین مختلف لاروی و شفیره کفشدوزک *H. variegata* را در دماهای ۱۸، ۲۲، ۲۶، ۳۰ و ۳۴ درجه‌ی سلسیوس با تغذیه از شته‌ی جالیز *Aphis gossypii* Glov مورد مطالعه قرار دادند نتایج نشان داد که کل دوره‌ی لاروی و شفیره در دماهای بالا به ترتیب ۲۷/۵۸، ۱۲/۶۶، ۱۰/۷۱، ۸/۲۸، ۷ روز می‌باشد. نتایج (Elhabi, et al., 2000) نشان می‌دهد که با افزایش دما از ۱۸ به ۳۴ درجه‌ی سلسیوس سرعت رشد در کفشدوزک زیاد شده و طول دوره‌های رشدی کوتاه تر می‌گردد که با نتایج به دست آمده در این پژوهش هماهنگ می‌باشد. در پژوهش (Molashahi et al., 2002) زیست‌شناسی کفشدوزک *H. variegata* را با تغذیه از شته خرزهره در دماهای ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ درجه‌ی سلسیوس مورد بررسی قرار دادند. این مطالعات نشان داد که طول دوره از تخم تا

آستانه پایین دمای رشد و نمو و نیاز گرمایی کفشدوزک *H. variegata* را با تغذیه از شته‌ی سبز انار برای کل دوره لاروی به ترتیب ۱۲/۶۷ درجه‌ی سلسیوس و ۹۴/۳۴ روز-درجه‌ی سلسیوس و برای کل دوره‌ی رشدی به ترتیب ۱۳/۳۴ درجه‌ی سلسیوس و ۱۶۹/۴۹ روز-درجه‌ی سلسیوس به دست آمد در حالی که Rounagh-Ardakani *et al.* (2014) آستانه‌ی پایین دمای رشد و نمو و نیاز گرمایی کفشدوزک *O. conglobata contaminata* را با تغذیه از شته‌ی سبز انار برای کل دوره‌ی لاروی به ترتیب ۸/۵۴ درجه‌ی سلسیوس و ۱۶۳/۹۳ روز-درجه‌ی سلسیوس و برای کل دوره‌ی رشدی به ترتیب ۹/۳۴ درجه‌ی سلسیوس و ۲۸۵/۷۱ روز-درجه به دست آورد و Fatemi (2014) برای کفشدوزک *M. sexmaculatus* برای کل دوره لاروی به ترتیب ۱۲/۲۲ درجه‌ی سلسیوس و ۸۳/۳۳ روز درجه و برای کل دوره‌ی رشدی به ترتیب ۱۱/۵۵ درجه‌ی سلسیوس و ۱۶۶/۶۶ روز-درجه به دست آمد. مشخص شد که آستانه پایین دمای رشد و نمو برای کل دوره‌ی لاروی و کل دوره‌ی رشدی در کفشدوزک *O. conglobata contaminata* نسبت به *M. sexmaculatus* کمتر است در حالی که نیاز گرمایی آن در هر دو مرحله بیشتر می‌باشد. در کفشدوزک *H. variegata* آستانه پایین دمای رشد و نمو برای کل دوره‌ی لاروی و کل دوره‌ی رشدی از هر دو کفشدوزک ذکر شده بیشتر است. نیاز گرمایی رشد برای کل دوره‌ی لاروی و کل دوره‌ی رشدی از کفشدوزک *O. conglobata contaminata* کمتر و از کفشدوزک *M. sexmaculatus* بیشتر می‌باشد.

در بررسی‌های انجام شده روی گونه نزدیک به گونه مورد بررسی در پژوهش حاضر روی میزبان‌های مختلف، در ادامه‌ی این بحث دنبال شده است. در پژوهش Katsarou *et al.* (2005) زیست شناسی کفشدوزک *H. convergens* Guérin-Méneville را در دماهای ۱۴، ۱۷، ۲۰ و ۲۳ درجه‌ی سلسیوس روی شته‌ی توتون مورد مطالعه قرار دادند، نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش دما از ۱۴ به ۲۳ درجه‌ی سلسیوس طول دوره‌ی رشدی کاهش پیدا می‌کند به طوری که طول دوره‌ی زندگی حشره‌ی کامل ۵۷/۲ روز در دمای ۱۴ درجه‌ی سلسیوس به ۱۶/۹ روز در دمای ۲۳ درجه‌ی سلسیوس کاهش یافت و طول دوره‌ی رشد در دماهای ۱۷ و ۲۰ درجه‌ی سلسیوس نیز ۳۶/۲ و ۲۷/۳ روز به دست آمد و در دمای ۱۷ و ۲۰ درجه‌ی سلسیوس وزن حشرات بیشتر بود. هم‌چنین ضمن این بررسی مشخص شد که مرگ و میر لاروهای سن یک بسیار بیشتر از لاروهای سنین بعدی و شفیره به ویژه در دماهای پائین می‌باشد. نتایج به دست آمده در مورد بیولوژی و مرگ و میر کفشدوزک *H. convergens* با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. نتایج تحقیقات دانشمندان نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان مرگ و میر لاروی در دمای نزدیک دمای آستانه پایین دمای رشد و نمو اتفاق می‌افتد که یک پدیده‌ی طبیعی در بین کفشدوزک‌های شته‌خوار می‌باشد که در مناطق معتدل زندگی می‌کنند (Orr & Obrycki, 1990, Miller, & Rodriguez-Saona & 1992).

در بررسی (Elhang & Zaitoon (1996) طول دوره‌ی رشدی کفشدوزک *H. variegata* با تغذیه از شته‌های *Rhopalosiphum* و *Brevicoryne brassicae* L. در *padi* L. در دمای ۲۵ درجه‌ی سلسیوس ۲۰/۱ روز و درصد بقا از تخم تا حشره‌ی کامل ۶۱/۸٪ پژوهش انجام شده به وسیله‌ی Orr & Obrycki (1990) طول دوره‌ی رشدی این کفشدوزک با تغذیه از شته‌ی *R. maidis* (Fitch) در دمای ۲۳ درجه‌ی سلسیوس ۱۹/۴ روز و درصد بقا از تخم تا حشره‌ی کامل ۹۵٪ و با تغذیه از شته نخود

پژوهش‌های مختلفی در رابطه با نیاز گرمایی کفشدوزک‌های دیگر صورت گرفته است، جلالی (۱۳۸۰) آستانه پایین دمای رشد و نمو را برای کفشدوزک *H. variegata* با تغذیه از پسیل معمولی پسته ۱۴/۴۱ درجه‌ی سلسیوس به دست آورده که بیشتر از پژوهش حاضر است بنابراین ممکن است. نوع غذا در برآورد شاخص‌های دمایی نقش بسزائی داشته باشد (Katsarou et al., 2005 و Obrycki & Tauber, 1982). در پژوهش Katsarou, et al. (2005) روی کفشدوزک *H. convergens* آستانه پایین دمای رشد برای تخم ۹/۷، لارو ۱۱/۲۰، شفیره ۱۱/۸ و تخم تا حشره‌ی کامل ۱۰/۷ درجه‌ی سلسیوس به دست آمد که کمتر از پژوهش حاضر است. بنابراین تحمل سرمایی کفشدوزک فوق بیشتر از *H. variegata* است. در پژوهش (Rebolledol, et al., 2009) آستانه پایین دمای رشد و نمو را برای کفشدوزک *H. variegata* با تغذیه از *A. pisum*، ۱۰ درجه‌ی سلسیوس و نیاز گرمایی را $10/2 \pm 190/32$ روز - درجه به دست آوردند در حالی که در پژوهش حاضر آستانه پایین دمای رشد و نمو ۱۳/۳۴ درجه‌ی سلسیوس و نیاز گرمایی ۱۶۹/۴۹ روز - درجه‌ی سلسیوس به دست آمد. بنابراین آستانه پایین دمای رشد و نمو در این پژوهش بیشتر از کفشدوزک *H. variegata* (Elhabi, et al., 2000) و کفشدوزک *H. convergens* (Obrycki & Tauber, 1982) است که نشان می‌دهد تحمل دمای پایین در کفشدوزک‌ها متفاوت است و این تحمل دمایی بستگی مستقیم به نوع غذای کفشدوزک دارد و آگاهی از آن برای پیش‌بینی میزان سازگاری کفشدوزک نسبت به محیط مهم است. در پژوهش Bayhan et al. (2005) روی شته‌ی سبز انار *A. punicae* آستانه پایین دمای رشد و نمو برای دوره‌ی پورگی ۱۱/۰۸ درجه‌ی سلسیوس به دست آمد و نیاز گرمایی برابر با ۶۶/۴ روز - درجه‌ی سلسیوس به دست آمد که این مقادیر کمتر از مقادیر محاسبه شده برای کفشدوزک *H. variegata* در پژوهش حاضر است (Bayhan et al., 2005). بنابراین، تحمل سرمایی شته‌ی سبز انار بیشتر از کفشدوزک شکارگر بوده و آفت زودتر در طبیعت ظاهر می‌شود. با استفاده از دستاوردهای این پژوهش برای تعیین دمای بهینه و آستانه‌ی پایین دمای رشد و نمو کفشدوزک و آفت، مشخص می‌شود که کدام یک زودتر در طبیعت ظاهر می‌شوند. در صورتی که آستانه پایین رشد برای آفت کم‌تر از شکارگر باشد نشان می‌دهد که آفت زودتر از شکارگر در طبیعت ظاهر شده و مهارزیستی آفت به وسیله‌ی کفشدوزک در ابتدای فصل آسان نخواهد بود (Mehrnejad & Jalali, 2004). با تعیین آستانه پایین دمای رشد و نمو شته‌ی انار، این پیش‌بینی امکان‌پذیر خواهد شد.

References

- Alinaghizadeh, A. 2011. Faunistic survey of ladybirds (Coccinellidae) in Kerman. MSc. Thesis of Agricultural Entomology, Vali-e-Asr University, 111pp. (In Persian with English summary).
- Arnold, C.Y. 1959. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. Proceedings of the American Society for Horticultural Science, 74: 430-445.
- Asghari, F., Samih, M.A., & Mahdian, K. 2012a. Some biological characteristics of *Hippodamia variegata* (Goeze) reared on *Brevicoryne brassicae* L. and eggs of *Ephestia kuehniella* Zeller. Biological Control of Plant Pest and Diseases, 1: 19-27. (In Persian with English summary).
- Asghari, F., Samih, M.A., Mahdian, K., Basirat, M. & Izadi, H. 2012b. Effects of temperature on some biological characteristics of *Hippodamia variegata* (Goeze) reared on common pistachio psylla *Agonoscaena pistaciae* Burckhardt and Lauterer and angoumois grain moth, *Sitotroga crealella* Olivier in laboratory conditions. Plant Protection Science, 42(1), 137-149. (In Persian with English summary).

- Badawy, A. 1968. The biology of *Adonia variegata* Goez and its role in control berseem aphids in Sudan. Bulletin de la Societe Entomologique-d Egypte, 52: 391-396.
- Bagheri, M.R. & Mossadegh, M.S. 1996. The faunistic studies of Coccinellidae in Charmahal Bakhtiari province (Part I Family: Chilocorinae and Coccinellidae). Journal of Agricultural Science, 7, 8: 29-35 (In Persian with English summary).
- Bayhan, E, Bayhan, O, Ulusoy M.R. & Brown J.K, 2005. Effect of temperature on the biology of *Aphis punicae* (Passerini) (Homoptera: Aphididae) on pomegranate. Environmental Entomology, 34, 22-26.
- Bernal, J. & Gonzalez, D, 1993. Temperatures requirements of four parasites of the Russian wheat aphid, *Duraphis noxia*. Entomologia Experimentalis et Applicata, 69: 173-182.
- Campbell A., Frazer B.D., Gilbert, N., Gutierrez, A.P. & Mackauer, M., 1974. Temperature requirements of some aphids and their parasities. Journal of Applied Ecology, 11: 431-438.
- Chi, H. 1990. Timing of control based on the stage structure of pest population: a simulation approach. Journal of Economic Entomology, 83, 1143-1150.
- Davidson, J. 1994. On the relationship between temperature and rate of development of insects at constant temperature. Journal of Animal Ecology, 13:26-38.
- Dent, D.R. & Wratten S.D. 1986. The host-plant relationships of apterous virginoparae of the grass aphid *Metopolophium festucae cerealium*. Annul of Applied Biology. 108: 567-576.
- Elbert, T.A. & Cartwright, B, 1997. Biology and ecology of *Aphis gossypii* (Glover) (Homoptera: Aphididae). Society of Southwestern Entomologists, 22: 116-145.
- Elhabi, M., Sekat, A., Elljad, L. & Boumezzoush, A. 2000. Biology, *Hippodamia variegata* (Goeze) (Col.: Coccinellidae) et possibilities de son utilization control *Aphis gossypii* (Glover) (Homoptera: Aphididae) Sous Serres de Cucumber. Journal of Applied Entomology, 124: 365-374.
- Elhag, E.T.A & Zaitoon, A.A. 1996. Biological parameters for four coccinellid species in central Saudi Arabia. Biological Control, 7: 316-319.
- Ershova, N.I. 1981. Aphidophagous coccinellids in covered ground. Zashchita Rastenii Moskva, 1: 29-30 (in Russian).
- Fatemi, S. 2014. Biology and efficiency of six spotted ladybird, *Menochilus sexmaculatus* Fabricius (Col.: Coccinellidae) feed on *Aphis punicae* Pass. (Hem.: Aphididae) and Feasibility study of suitable regions for release with using GIS in yazd province. MSc. Thesis of Agricultural Entomology, Vali-e-Asr University, (In Persian with English summary).
- Franzmann, A.B. 2002. *Hippodamia variegata* (Goeze) (Coleoptera: Coccinellidae), a predacious ladybird new in Australia. Australian Journal of Entomology, 41: 375-377.
- Gordon, R.D. 1987. The first North American records of *Hippodamia variegata* (Goeze) (Col.: Coccinellidae). Journal of New York Entomology Society, 95: 307-309
- Hodek, I. 1973. Biology of Coccinellidae. Czechoslovak. Academy of Science Prague.
- Hu, L.X., Chi, H., Zhang, J., Zhou, Q. & Zhang, R.J. 2010. Life table analysis of the performance of *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae) on two wild rice species. Journal of Economic Entomology, 103: 1628-1635.
- Huffaker, C, Berryman, A, & Turchin, P, 1999. Dynamics and regulation of insect populations, pp. 269-305. In C.B. Huffaker and A.P. Gutierrez (eds.), Ecological Entomology, 2nd ed. Wiley, New York.

- Ikemoto, T. & Takai, K. 2000. A new linearized formula for the law of total effective temperature and the evaluation of line-fitting methods with both variables subject to error. *Environmental Entomology*, 29, 671-682
- Jafari, R. & Vafaei Shoushtari, R. 2009. Effect of different temperatures on life developmental stages of *Hippodamia variegata* (Goeze) (Col., Coccinellidae), feeding on *Aphis fabae* (Scopoli) (Hem., Aphididae). *Journal of Entomological Research*, 1(4), 289-297, (In Persian with English summary).
- Jalali, M.A. 2001. Study of food consumption in lady beetles of the common pistachio psyllid, *Agonoscena pistaciae* in Rafsanjan and compiling a life table in controlled conditions. MSc Thesis, University of Shiraz, (In Persian with English summary).
- Kader, A.A. 2006. Postharvest biology and technology of pomegranates. pp. 211–220. In: *Pomegranates: Ancient Roots to Modern Medicine*, Seeram N.P., Schulman R.N. & Heber D. (eds.), CRC Press, Boca Raton, FL.
- Katsarou, I, Margaritopoulos, J.T., Tsitsipis, J.A., Dionyssios, Ch. & Zarpas, K.D. 2005. Effect of temperature on development, growth and feeding of *Coccinella septempunctata* and *Hippodamia convergens* reared on the tobacco aphid, *Myzus persicae nicotianae*. *Biocontrol*, 50: 565–588.
- Kontodimas, D.C. & Stathas, G.J. 2004. Phenology, fecundity and life table parameters of the predator *Hippodamia variegata* reared on *Dysaphis crataegi*. *Biocontrol*, 50: 223-233.
- Lanzoni, A., Accinelli, G., Bazzacchi, G.G. & Burgio, G. 2004. Biological traits and life table of the exotic *Harmonia axyridis* compared with *Hippodamia variegata* and *Adalia bipunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal of Applied Entomology*, 128: 298-306.
- Mehrnejad, M.R., & Jalali, M.A. 2004. Life history parameters of the coccinellid beetle, *Oenopia conglobata contaminata*, an important predator of the common pistachio psylla. *Biocontrol Science and Technology*, 14: 701-711.
- Michels, G.J. & Flanders, R.V. 1992. Larval development, aphid consumption and oviposition for five imported coccinellids at constant temperature on Russian wheat aphid and greenbugs. *Southwest Entomology*, 17: 233-243.
- Miller, J.C. 1992. Temperature-dependent development of the convergent lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae). *Environmental Entomology*, 21: 197–201.
- Mokhtari, B. & Samih, M.A. 2014a. Effects of temperature on some biological characteristics of *oenopia conglobata contaminata* (Menteries) reared on green peach aphid *Myzus persicae* (sulzer) in Laboratory Conditions. *Agricultural Pest Management*, 1(2), 1-12, (In Persian with English summary).
- Mokhtari, B., & Samih, M.A. 2014b. Predatory efficiency of *Oenopia conglobata contaminata* (Menteries) on *Myzus persicae* (Sulzer) (Hem.: Aphididae) under laboratory conditions. *Biological Control of Plant Pests and Diseases*, 3(1), 53-65, (In Persian with English summary).
- Molashahi, M., Sahragard, A. & Hoseini, R. 2002. Growth index of *Hippodamia variegata* (Col.: Coccinellidae) in laboratory conditions. *Proceeding of the 15th Iranian Plant Protection Congress*, Rasht, p. 338 (In Persian with English summary)
- Obrycki, J.J. & Tauber, M.J. 1982. Thermal requirements for development of *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae). *Annals of the Entomology Society of America*, 75: 678–683.

- Orr, C.J. & Obrycki, J.J. 1990. Thermal and dietary requirements for development of *Hippodamia parenthesis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Environmental Entomology*, 19: 1523–1527.
- Pedigo L.P. 1999. *Entomology and Pest Management*. Prentice Hall. USA. 691.
- Radjab, G. 1989. Insect attacking rosaceous fruit trees in Iran (Third Volume). Agricultural Research and Education Organization, Plant Pests & Diseases Research Institute, 256pp (In Persian).
- Rebolledol, R., Sheriff, J., Parra, L. & Aguilera, A. 2009. Life, seasonal cycles, and population fluctuation of *Hippodamia variegata* (Goeze) (Coleoptera: Coccinellidae), in the central plain of La Araucanía Region Chile. *Chilian Journal Agricultural Research*, 6(2): 292-298.
- Rodriguez-Saona, C. & Miller, J.C 1999. Temperature-dependent effects on development, mortality and growth of *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae). *Environmental Entomology*, 28: 518–522.
- Rounagh-Ardakani, H., Samih, M.A. & Mahdian, K. 2014. Effect of temperature on biological parameters of *Oenopia conglobata contaminata* (Menteries) by feeding on pomegranate green aphid *Aphis punicae* Pass. under laboratory conditions. *Plant Pests Research*, 4(3), 25-38, (In Persian with English summary).
- Samih, M.A. 1993. Morphology and identification of *Aphis* spp. (Hom.: Aphididae) in cooler region of southern Isfahan. Shahid Chamran University, Collage of Agriculture, 198 pp. (In Persian with English summary).
- Shakeri, M. & Daneshvar, M. 2004. Conference report on the achievements and problems of management Carob, *Ectomyeloid ceratoniae*. Research Center for Agriculture and Natural Resources of Yazd, p. 13, (In Persian with English summary).
- Wagner, T.L., Wu, P.J., Sharp, H., Schoolfield, R.M. & Coulson, R.N. 1984. Modeling insect development rates: A literature review and application of a biophysical model. *Annals of the Entomological Society of America*, 77: 208-225.
- Wang, Y.H., Liu, B.S., Fu, H.Z. & Gu, L.N. 1984. Studies on the habits and bionomics of *Adonia variegata* (Goeze). *Insect Knowledge Kunchong Zhishi*, 21: 19–22 (in Chinese).
- Wilson, L.T & Barnett, W.W. 1983. Degree-days: an aid in crop and pest management. *California Agriculture*, 37, 4-7.
- Yang, P.J.J.R. & Dowell, R.V. 1994. Temperature influence on the development and demography of *Bactrocera dorsalis* in china. *Environmental Entomology*, 23(4): 971-974.

Effect of temperature on developmental rate of *Hippodamia variegata* by feeding on pomegranate green aphid, *Aphis punicae*

Iman Ramazani, Mohammad Amin Samih

Department of Plant Protection, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran

Corresponding author: Mohammad Amin Samih, email: samia_aminir@yahoo.com

Received: Mar., 15, 2015

3 (2) 19-34

Accepted: Sep., 29, 2015

Abstract

Characteristics such as lower developmental time, higher fertility and a large body size of natural enemies as biological control agents are important for mass rearing. *Hippodamia variegata* (Goeze) (Col.: Coccinellidae) is one of the major predators of pests in the gardens of Iran. The effect of six constant temperatures, 17.5, 20, 22.5, 25, 27.5 and 30 (± 1) °C were investigated on the development of the predator by feeding on the pomegranate green aphid *Aphis punicae* (Hem.: Aphididae) in growth chamber at 65 \pm 5 %RH and 16L: 8D h conditions. The results showed that there were significant differences among developmental times of the studied coccinellid in examined temperatures. The developmental time of *H. variegata* were 46.01 \pm 1.541, 23.77 \pm 0.311, 16.02 \pm 0.16, 11.66 \pm 0.12, 10.45 \pm 0.20 and 13.35 \pm 0.33 days on above mentioned temperatures, respectively. Developmental rate of predatory coccinellid increased linearly in relation to temperature to 27.5 °C. The lowest mortality was observed at 20 and 27.5°C among the above mentioned temperatures. Two mathematical models, including common and Ikemoto and Takai linear models, were used to describe temperature-dependent development of the *H. variegata*. Based on the statistical criteria, whereas the common linear model had shown an acceptable fit to data, Ikemoto and Takai linear model estimated thermal indices more precisely than common linear model. Estimated values for lower temperature threshold for incubation period, total larval period, pupal period and overall immature stages of the *H. variegata* were 11.15, 14.13, 15.52 and 13.99 °C, respectively, and the values of the thermal requirement for the aforementioned developmental stages were 44.69, 79.22, 23.62 and 157.34 degree-days, respectively, by using Ikemoto and Takai linear model. Moreover, mathematical models for description of temperature-dependent development of the coccinellid developmental stages were presented. The results showed that optimum temperature was 25 to 27.5°C for the rearing of the lady beetle.

Keywords: degree day, pomegranate green aphid, thermal constant, lady beetle
